

团 体 标 准

T/GZLY 3-2022

楼宇建筑防雷技术评价指南

Guide to the evaluation of lightning protection technology in buildings

2022-12-16 发布

2022-12-23 实施

广州市楼宇经济促进会 发布

目 次

前 言	1
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 一般要求	3
5 雷击风险源	4
6 风险等级	9
7 防雷效果监测	10
8 防雷技术安全等级	10
9 评价机构基本要求	10
10 防雷新技术产品的维护	11
附录 A（资料性） 避雷针的工作原理及应用的局限性	12
附录 B（规范性） 多脉冲电涌保护器 MSPD 的技术参数	17
附录 C（规范性） 雷电拦截器工作原理及技术参数	19
附录 D（资料性） 楼宇建筑防雷技术评价的依据及参数	21

前 言

本文件按 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能涉及到 5.3.4 多脉冲电涌保护器与 8.2 雷电拦截器相关的专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广州市楼宇经济促进会提出并归口。

本文件起草单位：广州市楼宇经济促进会、广州市产业招商投资促进会、广东百立防雷科技有限公司、广州保利商业物业发展有限公司、广州昂宝电子有限公司、南网物业管理（广州）有限责任公司、广州珠江城置业有限公司、广州侨鑫物业有限公司珠江新城分公司、合景泰富商办、广州凯云发展股份有限公司、广州宝露智能科技有限公司。

本文件主要起草人：龚元、包紫洋、陈青山、杨少杰、杜峰、方志鹏、郑佳滨、陈世然、陈洋、蒲晓明、梁永恒、陈志樑、邹玲、赵中华、王强、陈卓君、王胜盛、张路遥、祁振海、陈厚昌、陈光耀、李广熙、毛志泉、江伟欢、赵娜华、蒲佳、郑静静、马俊、郑子宁、宋泽洵、陈瑶、成胜杰。

楼宇建筑防雷技术评价指南

1 范围

本文件规定了楼宇建筑防雷技术的一般要求、雷击风险源、风险等级、防雷效果监测、防雷技术安全等级、评价机构基本要求、防雷新技术产品的维护。

本文件适用于广州市范围内的商务办公楼宇、产业园区、城市综合体、公寓、酒店、购物中心、住宅楼等建筑等级评定。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 18802.11-2020 低压电涌保护器(SPD) 第11部分：低压电源系统的电涌保护器 性能要求和试验方法

GB/T 21714.1-2015 雷电防护 第1部分：总则

GB/T 21714.3-2015 雷电防护 第3部分：建筑物的物理损坏和生命危险

GB 50057-2010 建筑物防雷设计规范

GB 50343-2012 建筑物电子信息系统防雷技术规范

GB 50311-2016 综合布线系统工程设计规范

QX/T 10.1-2018 电涌保护器 第1部分：性能要求和试验方法

QX/T 106-2018 雷电防护装置设计技术评价规范

T/ASC 6004-2022 低压配电系统的多脉冲电涌保护器-性能要求和试验方法

IEC 61643-11:2011/2 PFG (2017) 连接到低压电力系统的多脉冲浪涌保护装置附加试验-性能要求和试验方法

IEC 62305-3:2010 建筑物的实体损害和生命危险

NFC 17-102:2011 雷电防护：提前放电的防雷系统

3 术语和定义

GB 50057-2010、IEC 61643-11:2011/2PFG (2017)、T/ASC 6004-2022 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

直接雷击 **direct strike**

雷电的下行先导与地面突出物产生的上行先导相连接而发生的雷击，包括过顶雷击和侧面雷击。

3.2

过顶雷击 **Over the top of the lightning strike**

雷电经过被保护物体的顶部而发生的直接雷击，简称直击雷。

3.3

侧面雷击 Side lightning strike

雷电经过被保护物体的侧面而发生的雷击，简称侧击雷。侧面雷击一般发生在相对高度 20M 以上的地面物体。

[来源：IEC 62305-3:2010:P:18-19:5.2.2]

3.4

地电位反击 Ground potential strikes back

地下金属构件因雷击闪络放电产生的高电位传导到建筑物内电气电子设备的现象。当超过设备的耐受力时，将导致设备损坏。

3.5

下行先导 Downward lead

当雷云底部电场强度达到空气电离阈值时，开始形成向下运动的离子电流（流光）。从光学的角度看像梯级一样，故称梯级先导，又称下行先导。每次向下击穿空气的平均距离约 50m，持续时间 35ms，速度 $2 \times 10^5 \text{m/s}$ ，电流 100-200A。

3.6

上行先导 Upward lead

受雷电下行先导端部电场的影响，避雷针等地面突出物端部感应出与下行先导电场极性相反的电荷，当其电场强度达到电晕阈值（3-5kV/m）时发生电晕并产生电晕电流（流光）。受库仑定律约束，其方向向上并朝下行先导端部发展，称为上行先导。

3.7

雷电拦截器 interceptor of lightning

在雷电下行先导端部电场作用下，产生比避雷针等地面突出物体更长的上行先导，率先吸引自然雷电放电（多脉冲放电）并衰减雷击点电流，在下风向一定距离内雷电不再放电而起到拦截作用的装置。

3.8

全方位多脉冲雷电拦截器 Comprehensive multi-pulse lightning interceptor

具有自动识别雷电的空间位置，全方位拦截直接雷击并衰减雷击点电流，适应雷电多脉冲放电的装置。

3.9

雷击点电流 Lightning point current

雷电对地面物体放电后，从接闪点流入大地的传导电流。区别于雷电放电通道的位移电流和物体尖端电晕的电晕电流。

3.10

色散 dispersion

波导中传输不同频率的电磁波时具有不同的相速。

[来源：电磁场与电磁波[M]. 北京：北京邮电大学出版社，2017]

3.11

波导 waveguide

引导电磁波能量定向传播的结构，常见的是横截面为矩形或圆形的中空金属管。双导体结构可传输横电磁模（TEM），单导体结构可传输色散的横电模(TE)或横磁模(TM)，简称色散波导。

3.12

谐振腔体 Harmonic cavity

波导内谐振电路的等效形式，由波导，谐振电路和分布参数组成。

3.13

区域防雷 regional lightning protection

是指针对需要防雷的特定区域，在雷电发生主要路径的上风向安装接闪器（接闪针），拦截直接雷击，达到在下风向的特定区域内避免或减少雷击发生的技术方法。

[来源：QX/T 10.1-2018]

3.14

多脉冲 Multi-Pulses

指雷电放电多次回击组成一组有时间间隔的脉冲串，简称多脉冲。

[来源：IEC 61643-11:2011/2 PFG]

3.15

多脉冲电涌保护器 multi-pulse surge protective device

能够承受同一时序多个脉冲组合波冲击的电涌保护器。

[来源：QX/T 10.1-2018]

3.16

脱离器 disconnecter

在 MSPD 失效时，把 MSPD 或 MSPD 的一部分从电源系统断开的装置。

[来源：GB/T 18802.11-2020, 3.1.28]

3.17

雷击风险源 Lightning risk source

根据楼宇建筑可能遭受雷击的种类、保护对象所在的地理位置、气象条件等对保护对象是否遭受雷击的系统分析方法。

3.18

风险等级 risk grade

按照楼宇建筑雷击风险源划分，风险等级分为高风险 A 级；中风险 B 级；低风险 C 级。

3.19

楼宇防雷安全等级 Lightning protection grade

根据楼宇雷击风险等级、设备雷击频繁程度、损失程度进行划分，防雷安全等级分为 A（0 风险）、B（低风险）、C（中风险）、D（高风险）四级。

3.20

穿透深度 penetration depth

雷电波在土壤中的传播距离，用穿透深度 D 表示，定义为电场强度减少到地面电场强度的 $1/e$ 倍（37%）。

4 一般要求

对楼宇建筑进行防雷技术安全等级评价前，应对其所在地理位置、雷电活动规律、高压/低压电力线路架设形式、外部环境等进行详细勘测。

4.1 现场勘测应包括：

- 接地系统：进入楼宇建筑各类金属管线，电力、信息、防雷等的接地；
- 配电系统：总配电室、楼层配电柜、信息系统配电柜安装的电涌保护器；
- 等电位系统：建筑物的均压环、门窗等大金属的接地和等电位；
- 信息系统：机房的雷击电磁脉冲强度分布、空间屏蔽和设备的安全距离；
- 接闪系统：建筑物天面的接闪、屏蔽和电气电子设备的等电位连接。

4.2 楼宇建筑的防雷技术安全评价应按照国际国内的最新技术标准和经过实践证明行之有效的新技术、新产品作为评价的依据，力求评价结果的针对性、有效性，以避免或减少广州市楼宇建筑的雷电灾害。

4.3 楼宇建筑按本指南进行防雷技术安全等级评价后，对需要整改的内容，建筑物业主或物业管理部门应认真整改。

4.4 楼宇促进会防雷专业委员会应对楼宇建筑的防雷安全给与指导并提供服务。

5 雷击风险源

5.1 雷电对楼宇建筑损害主要有五种形式：

- 直击雷：雷击建筑物天面部分；
- 侧击雷：雷击建筑物天面以下地面以上；
- 邻近雷击：雷击建筑物附近物体；
- 雷电电磁脉冲（感应雷击）：雷电电磁脉冲通过传导和辐射方式影响电气电子设备的现象；
- 地电位反击：雷击引起地下金属物体发生闪络放电产生的高电位通过接地系统传导到电气电子设备的现象。

5.2 风险源的划分

雷击风险源按雷击的不同形式和性质可分为：直击雷 S1，侧击雷 S2，邻近雷击 S3，雷电电磁脉冲 S4，地电位反击 S5，见表 1。

表 1 雷击风险源

序号	雷击形式、性质	风险源
1	直击雷	S1
2	侧击雷	S2
3	临近雷击	S3
4	感应雷	S4
5	地电位反击	S5

5.3 风险因子

5.3.1 直击雷风险因子 R1 (S1/R1)

雷击建筑物天面与评估对象所在的位置、四周建筑物的高度有关。当该建筑物处在雷击路径并为最高点，雷击概率大。当受到雷击后，雷电流的效应将导致天面物体的物理损坏或产生强电磁脉冲。把此现象定义为风险因子 R1，需要根据下列现状对 R1 赋值：

- R1=0。0 风险。天面避雷针接闪的雷电流垂直引入地下，天面所有金属物体等电位连接并在天面四角可靠接地；建筑物天面板筋按照 20×20cm 焊接，屏蔽系数 SF≥36db，对建筑物天面

下层空间电磁环境没有影响；

- R1=1, 低风险：天面避雷针设在天面中间，接地线经天面水平布置再向上与女儿墙避雷带连接，接闪的雷电流将击穿女儿墙引发事故。天面所有金属物体等电位连接并在天面四角可靠接地；建筑物天面板筋按照 20×20cm 焊接，屏蔽系数 SF≥36db，对建筑物天面下层空间电磁环境没有影响；
- R1=2, 中风险。天面避雷针接闪的雷电流垂直引入地下，天面所有金属物体等电位连接并在天面四角可靠接地；建筑物天面板筋采用绑扎，屏蔽系数 SF=0，对建筑物天面下层空间电磁环境产生影响；
- R1=3, 高风险。天面避雷针接闪的雷电流不能垂直引入地下，天面金属物体未能实现全部等电位连接并在天面四角可靠接地；建筑物天面板筋采用绑扎。可能导致女儿墙爆裂、天面金属体闪络放电、电磁场环境恶化。

5.3.1.1 对直击雷风险因子 R1 赋值，应采用以下公式：

5.3.1.1.1 天面空间的磁场强度

$$H_0 = \frac{i_0}{2\pi S_a} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

H_0 —天面避雷针接闪电流产生的磁场，单位为安培每米（A/m）；

i_0 —雷电流峰值，单位为安培（A）；

S_a —雷击点与测量点的距离，单位为米（m）。

5.3.1.1.2 天面网格屏蔽系数

$$SF = 20 \times \log \left(\frac{8.5}{w} \right) \dots\dots\dots (2)$$

式中：

SF —磁场屏蔽系数，单位为分贝（db）；

w —网格宽度，单位为米（m）。

5.3.1.1.3 顶层（天面下一层）空间磁场强度计算：

$$H_1 = \frac{H_0}{10^{\frac{SF}{20}}} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

H_1 —顶层空间磁场强度，单位为安培每米（A/m）；

H_0 —天面避雷针接闪电流产生的空间磁场，单位未安培每米（A/m）。

5.3.1.1.4 雷电流流过导体时的电压：

$$U = iR + l_0 \times L \times \frac{di}{dt} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

U ——雷电流流过导体产生的电压；

i ——雷电流；

R ——导线的电阻；

l_0 ——单位长度电感量；

L ——导线长度；

di/dt ——雷电流平均陡度。

5.3.1.1.5 导体间闪络放电的阈值：

——正极性雷击： $U_+ = 300kV/m$ ；

——负极性雷击： $U_- = 500kV/m$ 。

5.3.2 侧击雷风险因子 R2 (S2/R2)

侧击雷发生在高度 $\geq 20m$ 的建筑物。当雷电经过建筑物的四周侧面，某一侧面的金属门窗或玻璃幕墙的支架将产生上行先导与雷电的下行先导连接，形成雷击点。要求建筑物四周外墙的所有金属体都要通过均压环接地，以确保雷电流具有良好的入地路径。如外墙的金属体不能实现接地或不能全部接地，雷电将在不接地的金属体与墙之间闪络放电，造成墙体爆裂、玻璃幕墙损坏等物理损坏。同时，雷电流产生的电磁脉冲也将损坏附近的电子设备。把此现象定义为风险因子 R2，需要根据下列现状对 R2 赋值：

——R2=0。建筑物外墙的金属物体包括玻璃幕墙支架，金属门窗框架及其内部金属构件，外阳台金属栏杆；外挂空调机金属外壳，金属管线均良好接地。

——R2=1。建筑物外墙的金属物体包括玻璃幕墙支架，金属门窗框架及其内部金属构件，外阳台金属栏杆均良好接地。外挂空调机金属外壳，金属管线部分没有接地。

——R2=2。建筑物外墙的金属物体包括玻璃幕墙支架，金属门窗框架及其内部金属构件，外阳台金属栏杆部分没有良好接地，外挂空调机金属外壳，金属管线部分没有接地。

——R2=3。建筑物外墙的金属物体包括玻璃幕墙支架，金属门窗框架及其内部金属构件部分没有良好接地，外阳台金属栏杆没有接地，外挂空调机金属外壳，金属管线没有接地。

上述金属物体之间的过渡电阻应 $\leq 0.03 \Omega$ 。

5.3.3 邻近雷击风险因子 R3 (S3/R3)

当雷击发生在建筑物的附近，其产生的雷击电磁脉冲将辐射到建筑物内部。此时建筑物对雷击电磁脉冲的屏蔽作用主要靠建筑物外墙的金属门窗等金属构件来实现。如外墙的金属体未采取良好的接地措施，也会像侧击雷一样损坏建筑物内的电子设备。把此现象定义为风险因子 R3，需要根据下列现状对

R3 赋值:

- R3=0。建筑物外墙的金属物体包括玻璃幕墙支架,金属门窗框架及其内部金属构件,外阳台金属栏杆;外挂空调机金属外壳,金属管线均良好接地。
 - R3=1。建筑物外墙的金属物体包括玻璃幕墙支架,金属门窗框架及其内部金属构件,外阳台金属栏杆均良好接地。外挂空调机金属外壳,金属管线部分没有接地。
 - R3=2。建筑物外墙的金属物体包括玻璃幕墙支架,金属门窗框架及其内部金属构件,外阳台金属栏杆部分没有良好接地,外挂空调机金属外壳,金属管线部分没有接地。
 - R3=3。建筑物外墙的金属物体包括玻璃幕墙支架,金属门窗框架及其内部金属构件部分没有良好接地,外阳台金属栏杆没有接地,外挂空调机金属外壳,金属管线没有接地。
- 上述金属物体之间的过渡电阻应 $\leq 0.03 \Omega$ 。

5.3.4 雷电电磁脉冲(S4/R4)

雷电电磁脉冲对楼宇建筑的损害主要有传导和辐射两种形式:一是由于雷击高压送电线路(或架空低压配电线路)产生的强电磁脉冲传导到建筑物内的电源线路导致电气电子设备过电压损坏,称为传导性损害。二是发生直接雷击或邻近雷击,直接雷击的雷电流流过建筑物内的结构柱子产生的电磁脉冲、邻近雷击的电磁脉冲通过空气媒质辐射到建筑物内的线路和设备,产生过电压导致电气电子设备损坏,称为辐射性损害。把此现象定义为风险因子 R4,需要根据下列现状对 R4 赋值:

- R4=0。采用多脉冲电涌保护器预防传导性危害。建筑物内从总配电室到各个楼层配电均安装一套与配电的相数相适应的 MSPD,其技术参数应符合附录 B 的要求。计算建筑物内部雷击电磁场的梯度分布,并给出其 2.4Gs 等值线,所有电子设备均安装在 2.4Gs 等值线之内。
- R4=1。采用多脉冲电涌保护器预防传导性危害。建筑物内从总配电室到各个楼层配电均安装一套与配电的相数相适应的 MSPD,其技术参数不符合附录 B 的要求。计算建筑物内部雷击电磁场的梯度分布,并给出其 2.4Gs 等值线,所有电子设备均安装在 2.4Gs 等值线之内。
- R4=2。采用单脉冲电涌保护器预防传导性危害。建筑物内从总配电室到各个楼层配电均安装一套与配电的相数相适应的 SPD。计算建筑物内部雷击电磁场的梯度分布,并给出其 2.4Gs 等值线,部分电子设备安装在 2.4Gs 等值线之内。此现状存在雷击时 SPD 爆燃的隐患
- R4=3。采用单脉冲电涌保护器预防传导性危害。建筑物内从总配电室到各个楼层配电均安装一套与配电的相数相适应的 SPD。未计算建筑物内部雷击电磁场的梯度分布,电子设备处于盲目安装状态,存在 SPD 爆燃、电子设备损坏的严重隐患。

5.3.4.1 计算传导电压可按式(4)计算。对雷电流在外墙结构柱子流过产生的磁场强度,用毕奥-萨伐尔定理,按下式计算:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \dots \dots \dots (5)$$

式中:

B --磁感应强度,单位为特斯拉(T);

μ_0 --真空磁导率,取 $4\pi \times 10^{-7}$;

I --电流,单位为安培(A);

R --测量点至电流源点的距离,单位为米(m)。

5.3.5 地电位反击(S5/R5)

地电位反击是建筑物遭受直接雷击和邻近雷击导致地下金属物体间闪络放电,引起地电位升高而损坏电子设备的现象。地下金属物体包括利用基础钢筋作自然接地体、附加接地体、外来进入建筑物的金属管道(自来水管、煤气管道、电力、通信线路管道、带有金属加强筋的光纤)。把此现象定义为风险因子 R5, 需要根据下列现状对 R5 赋值:

- R5=0。建筑物地下所有金属物体全部采用等电位连接,建筑物内各专业的接地体均利用同一平面的建筑物柱筋,不存在闪络放电的条件。
- R5=1。建筑物地下金属物体全部采用等电位连接,建筑物内专业接地体在地下设有专业接地体,存在局部闪络放电隐患。
- R5=2。建筑物地下金属物体未全部采用等电位连接,建筑物内专业接地体在地下设有专业接地体,存在随机闪络放电隐患。
- R5=3。建筑物地下金属物体全部未采用等电位连接,存在严重的闪络放电隐患。

5.3.5.1 穿透深度计算

雷电波在土壤中的传播用穿透深度 D 表示,定义为电场强度减少到地面电场强度的 1/e 倍(37%)。穿透深度 D 与各谐波分量相对应,用下式计算:

$$D = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu_r \sigma}} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

- f —频率,单位为赫兹(Hz);
- σ —电导率(1/ ρ),单位为西门子每米(S/m);
- ρ —电阻率,单位为欧姆每米(Ω/m);
- μ_r —相对磁导率。

从式(6)可看出,土壤穿透深度 D 与谐波频率、土壤磁导率、电导率等相关。建筑物的地理环境不同,同一环境下的位置不同,土壤电阻率不同,土壤穿透深度有很大的区别。穿透深度 D 见表 2。

表 2 雷电波对土壤的穿透深度

参数	$\rho 1$		$\rho 2$		$\rho 3$	
f/Hz	10^3	10^4	10^3	10^4	10^3	10^4
$\rho/(\Omega/m)$	100	100	500	500	3000	3000
D/m	160	50	356	113	872	276

计算结果表明,直埋光缆在土壤中受雷击影响与土壤穿透深度 D 息息相关。频率越低,土壤电阻率越大,穿透越深。

5.3.5.2 击穿距离

地下金属物体之间放电距离 r 的电位 U_r 按式(7)计算:

$$U_r = \frac{I\rho}{2\pi r} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

U_r —接地体附近的电位，单位为千伏（kV）；

I —雷电流，单位为千安（kA）；

r —与接地体的距离，单位为米（m）。

上式可见，若 r 增大， U_r 降低。设直埋金属光缆塑料外护套的耐压为 U_D ，当光缆所在地 $U_r \geq U_D$ 时，便可使光缆外护套绝缘击穿。

在（7）式中，令 $U_r = U_D$ ，即可求出光缆发生击穿的距离 r ：

$$r = \frac{I\rho}{2\pi U_D} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

r —击穿点至接地体的距离，单位为米（m）；

U_D —土壤的击穿电压，单位为千伏（kV）。

应根据雷击的电流值，所在地土壤电阻率和土壤击穿强度值，计算击穿距离。如 $I = 30\text{kA}$ ， $\rho = 100\Omega/\text{m}$ ， $U_D = 100\text{kV}$ ， $r = 4.7\text{m}$ 。其中，若 $\rho = 500\Omega/\text{m}$ ， $r = 23.9\text{m}$ 。两者之间的距离应 $> r$ ，当距离不符合安全要求时，应采取保护措施。

6 风险等级

6.1 风险等级划分

为了评价楼宇建筑的防雷技术安全等级，把建筑物的雷击风险因子划分为四个风险等级：零风险 A，低风险 B，中风险 C，高风险 D。风险等级见表 3。

表 3 楼宇建筑雷击风险等级划分

雷击源 S	等级			
	A	B	C	D
直击雷 S1	R1=0	R1=1	R1=2	R1=3
侧击雷 S2	R2=0	R2=1	R2=2	R2=3
临近雷击 S3	R3=0	R3=1	R3=2	R3=3
电磁脉冲 S4	R4=0	R4=1	R4=2	R4=3
地电位反击 S5	R5=0	R5=1	R5=2	R5=3

6.2 划分等级原则

6.2.1 当不满足 6.1 等级划分条件时，按风险因子最大值划分等级。如在 A 级中，只要有一个因子值为 1，即划为 B 级，如有一个因子值为 3，即划为 D 级。

6.2.2 依据评价结果，经整改后达到相应级别的，可调整到相应等级。

7 防雷效果监测

7.1 在一般条件下，可安装用于统计雷击次数的雷击计数器（机械式或电子式），并具有防水、防潮的措施。

7.2 安装实时雷电监测系统，对楼宇雷电安全实行数字化管理。该系统应具有监测发生时间、雷击次数、雷电流幅度，脉冲个数等参数，具有统计功能和远程监测终端，可在电脑或手机查看数据。

7.3 防雷效果监测，应包含雷电进入建筑物的两个渠道：直接雷击和电源电磁脉冲。其安装位置和数量应根据具体情况确定。一般可直接安装在 MSPD 接地线（监测电源线路 LEMP 发生情况）和建筑物接地体的接闪引下线处（监测本建筑物的直击雷发生情况）。

8 防雷技术安全等级

8.1 根据雷击风险的不同程度，楼宇建筑的防雷技术安全等级与风险等级相对应，可分为四个安全等级，见表 4。

表 4 楼宇防雷技术安全等级

安全等级	风险等级	风险程度	隐患类型	整改内容
A	A	0	0	0
B	B	低	闪络	针、网、带、搭接
C	C	中	LEMP、Sa、地电位反击	SPD、Sa、接地系统
D	D	高	闪络、LEMP、Sa、地电位反击	针网带、SPD、Sa、接地系统

8.2 当采用国内外先进防雷技术，具备防雷效果监测，实现数字化管理的楼宇，可在 A 级的基础上评定为 A+。其条件为：

- 直击雷防护采用雷电拦截器。
- 楼宇安全级别连续两年为 A。
- 楼宇连续两年 0 雷害。
- 防雷效果数字化管理实施两年，所有报表连续可查。

8.3 防雷技术评价有效期两年。

8.4 获得防雷技术评价安全等级为 A 级的楼宇，改扩建及增加信息系统设备时，应向原评价单位咨询并采取相应的防雷技术措施。

9 评价机构基本要求

9.1 评价人员

楼宇防雷技术评价人员应熟悉本评价指南的内容及涉及的新概念，新技术。楼促会防雷专业委员会负责专门培训工作，经考试合格后在楼促会备案，才能承担评价业务。

9.2 专用仪器

评价工作应具备分析判断五大风险因子的设备仪表：

- 土壤电阻率、土壤电阻测试仪（R5：土壤电阻率 ρ 、电导率 σ 、接地体电阻 Ω ）；
- 等电位测试仪（R2：过渡电阻 Ω ）；
- 万用电表，电磁场测试仪（R4：电压 U、电场 E、磁场 B）；
- 数字示波器（R5：干扰波形 wave）；
- 函数计算器（R4：分流系数 K、屏蔽系数 SF）；
- 测量工具（R：长 L、宽 W、高 H）；
- 雷电拦截器专用现场测量仪（R1：工作状态 W）。

10 防雷新技术产品的维护

10.1 雷电拦截器 LIPT 维护及维护周期

10.1.1 雷电拦截器的维护内容主要是检查安装的牢靠程度，工作状态，需用专用工具检查。维护周期一年一次。

10.1.2 雷电拦截器的波导谐振腔体内存在静电场，具有吸附空气中的粉尘作用。雷电拦截器在安装一段时间后表面会发黑，其程度与安装环境的污染程度和种类有关，在维护期间可擦除。表面发黑的外观并不影响雷电拦截器的功能。

10.1.3 雷电拦截器的寿命为五年。

10.2 多脉冲电涌保护器 MSPD 的维护及维护周期

10.2.1 多脉冲电涌保护器的维护内容主要是检查其工作状态的故障显示、外观状况、接线的可靠程度等，不需要专用工具。

10.2.2 多脉冲电涌保护器的寿命为五年。

10.3 防雷新产品的维护应由专人负责，并做好日常检查和记录。需要使用专用工具和仪表检查的，宜委托专业机构负责。

附录 A

(资料性)

避雷针的工作原理及应用的局限性

A.1 避雷针的引雷作用

A.1.1 下行先导端部电荷的电场强度

避雷针对雷电的吸引作用(以偶极子负雷电为例),可用戈尔德(1945)给出的公式(1)计算。假设雷电通道的电荷按指数分布,即电荷密度在下行先导顶端最高,而朝着云端则按指数衰减。在理想大地上空 H 高度处,一个点电荷 Q 下面的电场强度为:

$$E = \frac{1.8 \times 10^{10} Q}{H^2} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

E —电场强度,单位为伏特每米(V/m);

Q —点电荷,单位为库伦(C);

H —距地面高度,单位为米(m)。

按瑞士圣萨尔瓦托山统计,一次放电平均电荷约为8库伦,在距地面50米处,按公式(1)计算, $E=57.6\text{MV}$;而当距地面100米处, $E=14.4\text{MV}$ 。公式(A.1)指出了电场强度与电荷高度的平方成反比,说明了在地面上行先导发展之前,闪电下行先导可以发展到离地面很近的地方。

A.1.2 上、下行先导端部电荷间的吸引力

上行先导端部电荷与雷电下行先导端部电荷相互吸引,其吸引力可用公式(A.2)计算:

设介质的介电常数 ϵ , 相对介电常数 ϵ_s , 真空介电常数 ϵ_0 , 且 $\epsilon = \epsilon_s \epsilon_0$,

$$\epsilon_0 = \frac{10^7}{4\pi c^2} = 8.85 \times 10^{-12} (\text{F/m})$$

$$F = \frac{1}{4\pi} \frac{4\pi \epsilon_0^2 Q_1 Q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

Q_1 —上行先导端部电荷,单位为库伦(C);

Q_2 —下行先导端部电荷,单位为库伦(C);

r — Q_1 与 Q_2 之间的距离,单位为米(m);

F —力,单位为牛顿(N)。

设: $Q_1=0.1\text{C}$ (相当于电晕电流100mA), $Q_2=5\text{C}$ (梯级先导的平均电荷,相当于回击电流100kA), $r=200\text{m}$ 。按公式(A.2)计算,可得吸引力 $F=112.5 \times 10^3 \text{N}$ 。

公式 (A.2) 说明了避雷针产生的上行先导对雷电的吸引作用, 避雷针又叫引雷针。

A.2 避雷针的保护作用

A.2.1 临界电场击穿强度E

临界击穿强度是指雷电下行先导端部电场强度在一米距离的电弧放电所需要的值。

A.2.2 闪击距离r

闪击距离定义为下行先导端部离地面某一高度, 在这一高度下最终的空气间隙正好达到临界的击穿强度。瓦格纳 (1963) 假设下行先导端部与向上先导端部的临界击穿强度为 500V/m 至 600V/m 之间, 闪击距离可由公式 (A.3) 计算:

$$r = 2 \times 10^2 \frac{v}{1-2.2v^2} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

r --闪击距离, 单位为米 (m);

v --以光速的百分数表示的回击速度。

公式 (A.3) 中, 速度 v 是唯一与回击电流的幅值有关的量。按照此公式, 瓦格纳得出当回击电流为 10kA 时, $r=40m$; 当回击电流为 50kA 时, $r=100m$ 。

阿姆斯特朗和怀特黑德 (1963) 最早提出闪击距离的解释表达式: $r=Ki^p m$, (r --闪击距离, 单位为米 (m), k 、 p 为常数, i --回击电流, 单位为安培 (A))。洛夫 (1973) 提出了关系式:

$$r = 2 i_0 + 30[1 - \exp(i_0/6.25)] \dots\dots\dots (A.4)$$

$$\text{且 } i_0 = v_c q$$

式中:

v_c --回击速度;

q --下行先导电荷密度。

为了方便计算, 公式 (A.4) 简化为公式 (A.5):

$$r = 10 i_0^{0.65} \dots\dots\dots (A.5)$$

公式 (A.5) 就是现行国家标准 GB50057-2010《建筑物防雷设计规范》的滚球半径公式。

A.2.3 保护范围

用几何法来解决保护范围的问题是基于这样的概念: 闪电进展到某一点时, 如该点的避雷针构成了入地的最短通道, 则雷电将优先打在避雷针上而不打到地面上。从多高的距离上可以发生这种雷击的问题可用简单的几何学算出, 富兰克林把这一临界高度称之为“闪击距离”。

A.2.3.1 45°角折线法

应用高压试验室模拟雷电放电实验, 假定雷电距离为避雷针高度的 5-10 倍, 经放电实验统计得出单根避雷针的保护范围. 其在地面的保护半径为: $r=1.5hp(h \leq 30m)$ 式中: r --保护半径, 单位为米(m); h --避雷针高度, 单位为米(m); p --高度影响系数。保护范围是一个圆锥体。

A. 2. 3. 2 滚球法。

滚球法是几何模拟法，它以放电路径几何距离的长短作为避雷针保护的判据。假设雷电先导从雷云出发不受地面任何特征影响，即自由发展的放电。当雷电先导到达距地面一定高度 h 时，先导才开始向地面突出物偏转。从偏转点 p 到避雷针尖的距离为击距 r ， $r = 10i^{0.65}$ 。利用 r 对地面画弧，圆弧下的面积为避雷针的保护范围。单根避雷针的保护范围见公式 (A.6)：

$$r_0 = \sqrt{h(2h_r - h)}(m)$$

$$r_0 = \sqrt{h(2h_r - h) - \sqrt{h_r(2h_r - h_x)}} \dots\dots\dots (A. 6)$$

式中：

r_x —避雷针在 h_x 高度的保护半径，单位为米 (m)；

h_r —滚球半径 m ，单位为米 (m)；

h_x —被保护物的高度 m ，单位为米 (m)；

r_0 —避雷针在地面上的保护半径 m ，单位为米 (m)。

从上述保护范围的历史研究和现实应用可以看出，避雷针的保护范围是一个锥体，在此范围内的物体可免受雷击，又叫避雷针。

A. 3 避雷针的拦截作用

A. 3. 1 历史认识

避雷针拦截即将发生的雷击，并为雷电流提供一个安全的入地路径。

A. 3. 2 两次雷击的时间间隔

雷电在一个特定区域内发生第一次放电后，将在平均间隔时间 4 分 33 秒后才会发生第二次放电，且伴有 5-8 级大风。

A. 3. 3 电晕放电对下风向的屏蔽作用

Ogden(1968)尖端放电电流产生的空间电荷将造成下风向电位梯度的减小量为：

$$\Delta E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0 V k} \left[1 + \frac{d}{(d^2 + h^2)^{1/2}} \right] \dots\dots\dots (A. 7)$$

式中：

ΔE —尖端放电电流产生的空间造成下风向电势减小的量，单位为伏特每米 (V/m)；

v —风速，单位为米每秒 (m/s)；

h —接闪器高度，单位为米 (m)；

d —下风向某一点与接闪器的距离，单位为米 (m)；

ϵ_0 —真空中的介电常数，取 $8.85 \times 10^{-12} \text{F/m}$ 。

地面电场随雷击点距离的变化特征，其变化规律见表 A.1:

表 A.1 地面电场随雷击点距离变化

距离/Km	电场强度 KV/m
0	20
1	19
2	16
3	13
4	8
5	5
6	3
7	2.5
8	0

A.3.4 保护范围

单针拦截的保护范围：从雷电活动路径的上风向首个拦截点至下风向的直线距离内，没有超过上风向首个拦截点保护高度的保护区域按下式计算：

$$A = \frac{\pi r^2}{2} \dots\dots\dots (A.8)$$

式中：

A —被保护区域的面积，单位为平方米 (m^2)；

r —两次雷击之间的距离，单位为米 (m)。

A.3.5 避雷针保护的局限性

避雷针存在四个局限性：

- 吸引能力低。避雷针产生的上行先导平均大约 50m，而拦截器比避雷针产生的上行先导长 46.55m（试验室条件下，实际更长）。显然，避雷针对雷电下行先导的吸引力太低。在一定条件下不起避雷针的作用，这也解释了安装避雷针后被保护物体依然遭到雷击损坏的原因，典型案例如 2022 年 8 月 27 日，三支独立避雷针（加避雷线）保护的肯尼迪航天中心新一代登月火箭“太空发射系统”发射架四次遭到雷击。
- 雷电流没有衰减。因其由一段端部为针状的导电金属材料组成，与其它金属材料一样对雷电流没有衰减。而雷电拦截器采用色散波导谐振腔体设计，能够衰减雷击点电流 $\geq 40\%$ 。
- 源电流的电磁效应强烈。以 30kA 雷电流计算，普通避雷针 2.4GS 强度的半径为 25m，而雷电拦截器 2.4GS 强度的半径为 15m。
- 不能预防侧击雷。对保护对象而言，雷电运动路径的空间位置可分为过顶雷、侧面雷（包括侧下雷），避雷针对侧面雷击的接闪概率只有 10%，而雷电拦截器预防侧击雷概率为 90%。

A.3.6 特别提示

现行国家标准 GB50057-2010 对避雷针的使用有明确要求，当雷击电流 I 小于下列数值时，避雷针

T/GZLY 3-2022

不起作用:

——第一类防雷建筑物 ($h_r=30\text{m}$), $I=5.4\text{kA}$ 。

——第二类防雷建筑物 ($h_r=45\text{m}$), $I=10.1\text{kA}$ 。

——第三类防雷建筑物 ($h_r=60\text{m}$), $I=15.8\text{kA}$ 。

附录 B

(规范性)

多脉冲电涌保护器 MSPD 的技术参数

B.1 多脉冲电涌保护器MSPD

专门为低压配电系统研发的系列产品，其对电磁脉冲具有强大的吸收能力。

B.2 设计标准

——IEC 61643-2011 低压电涌保护设备 第 11 部分:连接到低压电力系统的电涌保护装置-要求和测试方法

——IEC 61643-2011/2PFG 连接到低压电力系统的多脉冲电涌保护器附加试验-性能要求和试验方法

B.3 多脉冲电涌保护器核心技术体系

B.3.1 多脉冲电涌保护器 (T1)

- a) 模块尺寸：长 144mm×宽 70mm×高 90mm。
- b) 安装导轨标准：GB45-35mm。
- c) 技术参数：

表 B.1 多脉冲电涌保护器 (T1) 技术参数

序号	项目	参数	序号	项目	参数
1	工作电压 U_0	220V	8	防护等级	IP20
2	最大持续工作电压 U_c	385V	9	MSPD 类型	限压型
3	多脉冲组合波 MCW	MS-8/20 μ s-10P/40kA	10	使用模式	TN/TT
4	冲击电流 I_{imp}	≥ 12.5 kA	11	保护模式	L/N-PE
5	电压保护水平 U_p	≤ 1.5 kV	12	故障显示	LED
6	后备保护装置 T_d	$1.0s \leq t \leq 2.0s$	13	远程监测	有
7	电源频率 f	47-63Hz	14	组合方式	1P/2P/3P/4P

B.3.2 多脉冲电涌保护器 (T2)

- a) 模块尺寸：长 72mm×宽 70mm×高 90mm。
- b) 安装导轨标准：GB45-35mm。
- c) 技术参数：

表 B.2 多脉冲电涌保护器 (T2) 技术参数

序号	项目	参数	序号	项目	参数
1	工作电压 U_0	220V	8	防护等级	IP20
2	最大持续工作电压 U_c	385V	9	MSPD 类型	限压型
3	多脉冲组合波 MCW	MS-8/20 μ s-10P/20kA	10	使用模式	TN/TT
4	冲击电流 I_{imp}	≥ 20 kA	11	保护模式	L/N-PE

5	电压保护水平 U_p	$\leq 1.5kV$	12	故障显示	LED
6	后备保护装置 T_d	$1.0s \leq t \leq 2.0s$	13	远程监测	有
7	电源频率 f	47-63Hz	14	组合方式	1P/2P/3P/4P

B.3.3 高能吸收器 (T3)

- a) 模块尺寸：长 72mm×宽 70mm×高 90mm。
- b) 安装导轨标准：GB45-35mm。
- c) 技术参数：

表 B.3 高能吸收器 (T3) 技术参数

序号	项目	参数	序号	项目	参数
1	工作电压 U_0	220V	8	防护等级	IP20
2	最大持续工作电压 U_c	385V	9	MSPD 类型	限压型
3	多脉冲组合波 MCW	MS-8/20 μ s-10P/10kA	10	使用模式	TN/TT
4	冲击电流 I_{imp}	$\geq 10kA$	11	保护模式	L/N-PE
5	电压保护水平 U_p	$\leq 0.1kV$	12	故障显示	LED
6	后备保护装置 T_d	$1.0s \leq t \leq 2.0s$	13	远程监测	有
7	电源频率 f	47-63Hz	14	组合方式	1P/2P/3P/4P

附录 C

(规范性)

雷电拦截器工作原理及技术参数

C.1 雷电拦截器的工作原理

全方位多脉冲雷电拦截器采用色散波导谐振腔体结构,具有自动识别雷电的空间位置,全方位拦截直接雷击并衰减雷击点电流,适应雷电多脉冲放电的的装置。

C.2 设计标准

- GB/T 169271-2011 高电压试验技术第1部分:一般定义及试验要求
- NFC 17-102:2011 Lightning Protection of structures and open areas against lightning using early streamer emission air terminals
- GB/T 33588.1-2017 雷电防护系统部件(LPSC) 第1部分:连接件的要求

C.3 雷电拦截核心技术体系

C.3.1 全方位雷电拦截器的技术参数

- a) 结构: 色散波导谐振腔体多针终端。
- b) 功能: 拦截直接雷击和侧面雷击
- c) 技术参数: (试验报告参数)
 - $\Delta t=46.55 \mu s$ 。(1200kV条件下与避雷针对比试验, $1 \mu s=1m$,相当于比避雷针的上行先导长 46.55m/试验报告参数)
 - $P=100\%$ 。(直击雷接闪概率/试验报告参数)。
 - $P \geq 90\%$ 。(侧击雷接闪概率/试验报告参数)。
 - $I_a \geq 40\%$ 。(衰减雷电流,理论计算值;实际监测衰减效率 $\eta \geq 50\%$)
 - $r=10m$ (以 30kA 全球平均计算,减小雷击电磁场强度 2.4Gs 半径;实际监测 $r \geq 10m$)
 - $A = \pi r^2/2(m)$ (下风向保护范围, $r \leq 3km$)
- d) 特点: 使用无需限高。可预防过顶雷击和侧面雷击(包括侧下雷击)。

C.3.2 雷电拦截器的技术参数

- a) 结构: 色散波导谐振腔体单针终端。
- b) 功能: 拦截直击雷
- c) 技术参数:
 - $\Delta t=46.55 \mu s$ 。
 - $P=100\%$ (直击雷接闪概率)
 - $I_a \geq 40\%$ (衰减雷电流)
 - $r=10m$ (减小雷击电磁场强度 2.4Gs 半径)
 - $A = \pi r^2/2(m)$ (下风向保护范围, $r=1-2km$)。
- d) 特点: 使用限高 20m。仅预防过顶雷击(城镇建构物 $h \leq 20m$) ,不能应用在发生侧面雷击的场合($h \geq 20m$,高山等)。

C.3.3 雷电抑制器的技术参数

- a) 结构: 色散波导谐振腔体球状终端。
- b) 功能: 抑制直接雷击和侧面雷击。

c) 技术指标:

- $P=20\%$ (直击雷接闪概率)。
- $I_a \geq 40\%$ (衰减雷电流)。
- A=正在试验之中 (目前按保护角法)。

d) 特点: 可预防过顶雷击和侧面雷击, 使用在不希望发生接闪的场合。

全国团体标准信息平台

附录 D

(资料性)

楼宇建筑防雷技术评价的依据及参数

D.1 直击雷

- a) 风险因子 R1。
- b) 位置：建筑物天面部分。
- c) 内容：针、网、带、引下线、金属物体。
- d) 技术要求：
 - 避雷针安装位置、引下线布置合理
 - 避雷带材料、安装方法、支撑杆符合要求
 - 明装金属网格尺寸符合要求
 - 金属物全部等电位连接，材料、规格、连接点过渡电阻符合要求
- e) 依据：
 - GB/T 21714.1-2015 雷电防护 第1部分：总则
 - GB 50057-2010 建筑物防雷设计规范
 - GB/T 21714.3-2015
 - QX/T 106-2018 防雷装置设计技术评价规范
 - NFC 17-102-2011 雷电防护：提前放电的防雷系统

D.2 侧击雷

- a) 风险因子 R2。
- b) 位置：建筑物四周外墙。
- c) 内容：金属门窗、外露金属体、阳台金属栏杆、外墙金属管道。
- d) 技术要求：
 - 均压环设置合理
 - 门窗与均压环过渡电阻符合要求
 - 外露金属体、阳台金属栏杆、外墙金属管道接地良好
- e) 依据：
 - GB/T 21714.1-2015 雷电防护 第1部分：总则
 - GB 50057-2010 建筑物防雷设计规范
 - GB/T 21714.3-2015
 - QX/T 106-2018 防雷装置设计技术评价规范

D.3 邻近雷击

- a) 风险因子 R3。
- b) 位置：建筑物四周环境。
- c) 内容：与侧击雷相同
- d) 技术要求：与侧击雷相同
- e) 依据：与侧击雷相同

D.4 雷电电磁脉冲

- a) 风险因子 R4。

T/GZLY 3-2022

- b) 位置：总配电室、楼层配电、信息系统机房配电。
- c) 内容：安装与配电相适应的MSPD；信息机房或信息设备 2.4Gs 等值线。
- d) 技术要求：符合附录 B 的技术参数；符合信息系统机房要求。
- e) 依据：
 - T/ASC 6004-2022 低压配电系统的多脉冲电涌保护器-性能要求和试验方法
 - IEC 61643-11-2011/2PFG 连接到低压电力系统的多脉冲浪涌保护装置附加试验-性能要求和试验方法
 - GB 50343-2012 建筑物电子信息系统防雷技术规范
 - GB 50311-2016 综合布线系统工程设计规范

D.5 地电位反击

- a) 风险因子 R5。
- b) 位置：建筑物地下；各楼层接地汇流排。
- c) 内容：自然接地体、附加接地体；各类金属管道与自然接地体的等电位连接。
- d) 技术要求：接地体接地电阻值按设计要求；等电位连接的方法、材料、规格符合要求。各楼层的接地汇流排安排符合要求。
- e) 依据：
 - GB/T 21714.1-2015 雷电防护 第1部分：总则
 - GB 50057-2010 建筑物防雷设计规范
 - GB/T 21714.3-2015
 - QX/T 106-2018 防雷装置设计技术评价规范

本指南用词说明

为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 表示很严格,非这样做不可的用词：正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
 - 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
 - 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。
-